Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 43 (1952)
Heft: 23

Artikel: Das Kraftwerk Châtelot
Autor: Brügger, W.F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057909

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

43e année N° 23 Samedi, le 15 Novembre 1952

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Das Kraftwerk Châtelot

Von *W. F. Brügger*, Basel

621.311.21 (494.434)

Das Grenzkraftwerk Châtelot am Doubs, mit dessen Bau im Juni 1950 begonnen wurde und dessen Inbetriebsetzung im Frühjahr 1953 erfolgen wird, ist eines der wenigen grösseren hydraulischen Kraftwerke im schweizerischen Juragebiet. Die charakteristischen Abflussverhältnisse des grössten Flusses in diesem Gebiet, des Doubs, welcher nun in einer für die Energieausnützung prädestinierten Gefällsstufe ausgebaut wird, haben denn auch zusammen mit den topographischen Verhältnissen der Gegend dem Werk Châtelot einen besonderen Charakter verliehen. Im folgenden ist dieses Werk, mit besonderer Betonung seiner maschinellen und elektrischen Ausrüstungen, beschrieben.

L'usine frontière du Châtelot, dont les travaux ont commencé en juin 1950 et qui sera mise en service au printemps 1953, est l'une des rares centrales hydrauliques d'une certaine importance du Jura suisse. Le régime caractéristique de la plus grande rivière de la région, le Doubs, aménagé maintenant sur un parcours prédestiné à la production de l'énergie, et la topographie spéciale des lieux ont imprimé un sceau particulier à cette usine. L'article ci-après est consacré à cet aménagement et s'attache, entre autre, à décrire l'équipement électro-mécanique.

A. Einleitung

Obschon in früheren Zeiten im tief eingeschnittenen Doubstal, wo dieses die Landesgrenze bildet, zahlreiche kleine Wasserkraftanlagen bestanden, hat sich aus diesen Anlagen, die alle bis auf Ruinen verschwunden sind, wenig Neues entwickelt. Das werdende Werk «Châtelot» wird vorläufig das einzige grössere Kraftwerk (über 10 MW installierte Leistung) am Oberlauf des Doubs sein; es verdankt seine Entstehung der günstigen Akkumuliermöglichkeit, welche sich auf der betreffenden Gefällsstufe darbot.

Nach langjährigen Vorarbeiten der am Ausbau dieser Gefällsstufe des Doubs interessierten Gesellschaften wurde im Jahre 1947 die schweizerische Konzession erteilt und 1950 die französische Baubewilligung erlassen. Heutiger Konzessionsinhaber, Ersteller und Eigentümer des Werkes ist die Société des Forces Motrices du Châtelot, eine schweizerische Gesellschaft mit Sitz in La Chaux-de-Fonds. Am Gesellschaftskapital sind die Electricité de France mit 50% und schweizerischerseits der Kanton Neuenburg, die Electricité Neuchâteloise, die Entreprises électriques Fribourgeoise, die Suiselectra in Basel und die Elektro-Watt in Zürich mit zusammen 50 % beteiligt. Der Energieertrag fällt je zur Hälfte den beiden Ländern, Schweiz und Frankreich, zu.

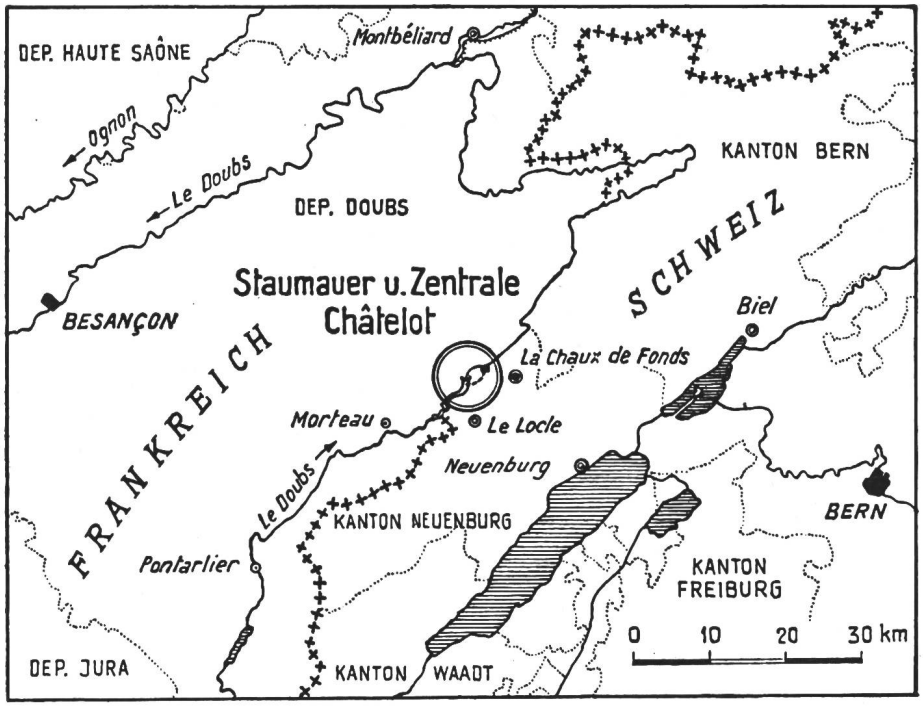


Fig. 1
Uebersichtskarte
1 : 1 000 000

B. Allgemeine Anordnung des Kraftwerkes und Ausbauleistung

Die Konzessionsstufe des Kraftwerkes Châtelot erstreckt sich vom Saut du Doubs an flussabwärts auf eine Länge von ca. 10 km. Die Lage ist aus der Übersichtskarte, Fig. 1, und dem Lageplan, Fig. 2,

ersichtlich. Ungefähr in der Mitte der Konzessionsstrecke wird die Staumauer erstellt, durch welche das Staubecken «Moron» mit einem nutzbaren Inhalt von $16 \cdot 10^6$ m³ und einem Bruttoinhalt von $20 \cdot 10^6$ m³ geschaffen wird. Der Stausee reicht bei der maximalen Staukote von 716,0 m, entsprechend einer Oberfläche von ca. 0,7 km², unmittelbar bis an den Fuss des Saut du Doubs; seine maximale Länge beträgt 3,5 km. Die Wasserfassung mit ihrer Einlaufschwelle auf Kote 674,0 m liegt auf dem rechten Ufer dicht bei der Staumauer. Von hier aus wird das Betriebswasser mittels eines ca. 3 km langen Druckstollens dem Wasserschloss und anschliessend durch einen kurzen Druckschacht dem ebenfalls am rechten Flussufer gelegenen Maschinenhaus zugeführt. Sämtliche Anlageobjekte ausser der Staumauer werden also vollständig auf Schweizer Boden erstellt.

Die Wasserrückgabe erfolgt bei Vollast und normaler Wasserführung des Doubs auf Kote 619,0 m. Es ergibt sich somit durch den Aufstau ein maximales Bruttogefälle von 97,0 m und, mit der niedrigsten zulässigen Staukote auf 686,0 m, ein minimales Bruttogefälle von 67,0 m.

Die Ausbauwassermenge des Kraftwerkes wurde auf Grund systematischer vergleichender Studien zu 40 m³/s gewählt. Sie ist in auffallender Weise bedeutend grösser als die mittlere, durch den Stausee regulierte nutzbare Wassermenge, nämlich 12,0 m³/s (die mittlere jährliche Abflussmenge der Jahre 1925/1949 beträgt 19,8 m³/s). Die Gründe für die Wahl dieser Ausbauwassermenge liegen einerseits in den charakteristischen hydrographischen Verhältnissen des Doubs, dessen Wasserführung bekanntlich äusserst brüske Schwankungen zwischen Hoch- und Niederwasser aufweist, und zwar besteht diese Möglichkeit während des ganzen Jahres, wobei eine eigentliche mittlere Wassermenge kaum auftritt, und andererseits sollte das Kraftwerk Châtelot unter Berücksichtigung des gegebenen Stauinhaltes des Speicherbeckens weitgehend zur Deckung der täglichen Spitzen des Energiebedarfs bei den Energiebezügern herangezogen werden können. Bei den vorliegenden Verhältnissen ist es möglich, das während 24 Stunden im Stausee gespeicherte Wasser im Mittel in knapp 7 Stunden mit Vollast zu verarbeiten.

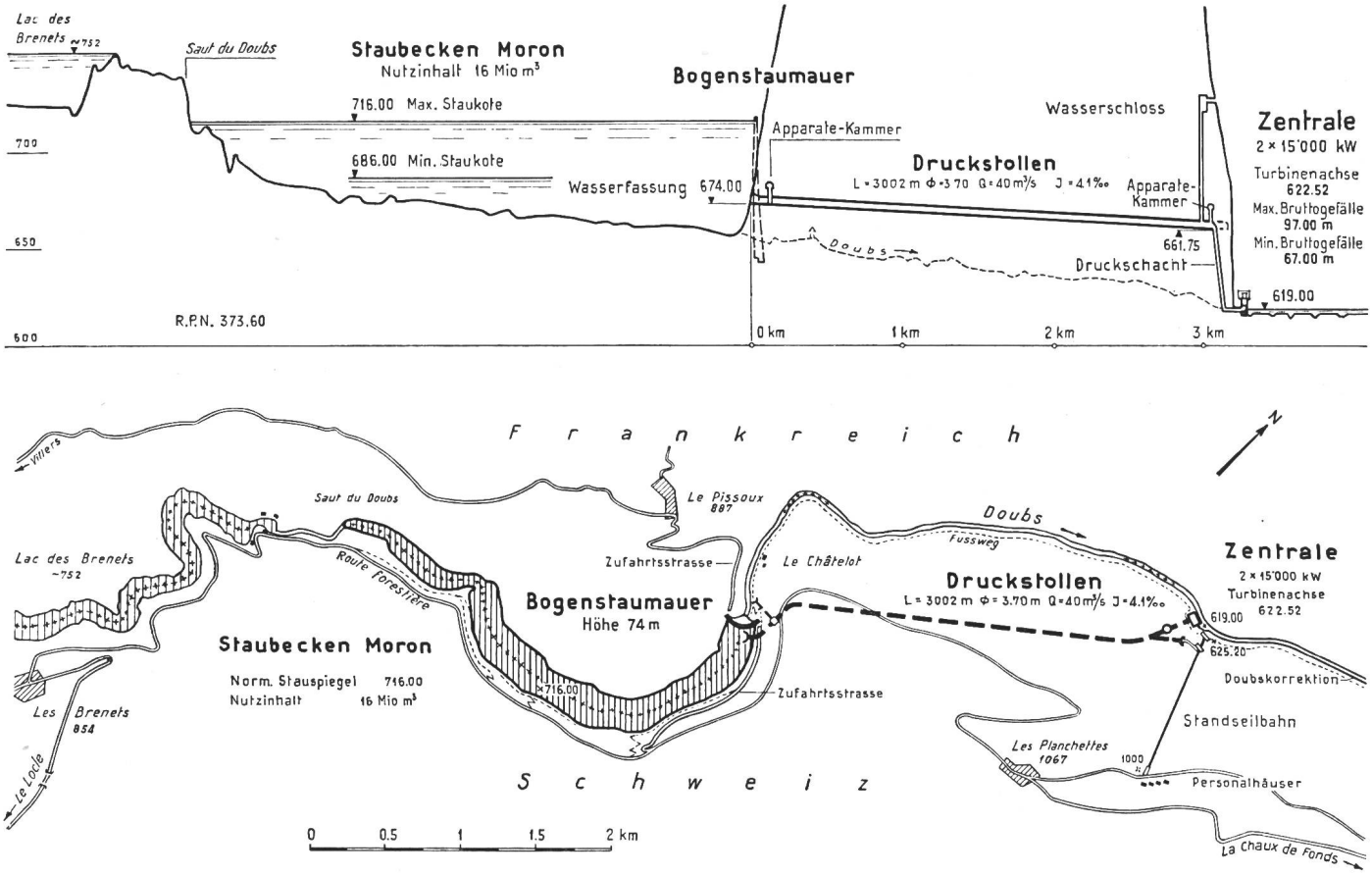


Fig. 2
Lageplan und Längenprofil
1 : 50 000

Der Ausbauwassermenge von 40 m³/s entspricht eine installierte Leistung von 30 000 kW (an den Generatorklemmen), verteilt auf 2 Maschineneinheiten. Die Antriebsaggregate der Maschinengruppen bestehen wiederum aus je 2 abkuppelbaren Turbinen gleicher Grösse, wodurch die Betriebswassermenge auf 4 Turbinen von max. 10 m³/s Schluckfähigkeit aufgeteilt werden kann. Diese Aufteilung war notwendig im Interesse einer wirt-

schaftlichen Ausnützung auch der kleinen Wassermengen während einer ausgedehnten Trockenperiode, wie solche öfters auftreten können.

C. Die baulichen Anlagen

1. Zufahrten

Das Kraftwerk liegt in einer ursprünglich nur ungenügende Zufahrtmöglichkeiten aufweisenden, teilweise sogar nicht leicht zugänglichen Gegend. Es mussten deshalb sowohl für die Baustellen der Staumauer als auch für diejenige des Maschinenhauses neue Zufahrten geschaffen werden. So wurden unter anderem Zufahrtstrassen zur Staumauer vom französischen und schweizerischen Ufer aus gebaut, während als Zugang zum Maschinenhaus eine Standseilbahn erstellt wurde, welche auch später die Hauptzugangsmöglichkeit zum Maschinenhaus und die Verbindung zwischen diesem und der Wohnkolonie des Betriebspersonals bei Les Planchettes bilden wird.

Fig. 3
Blick vom Corps du Garde (1078 m) in das Staubecken Moron

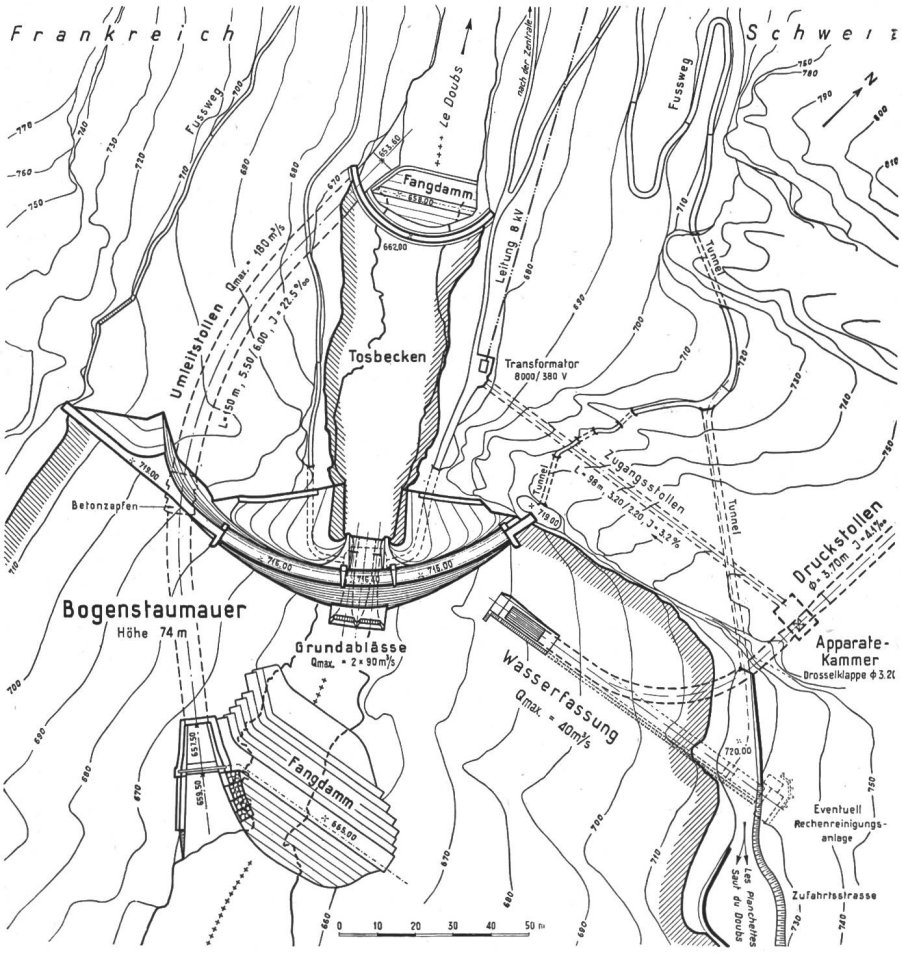


Fig. 4
Staumauer, Lageplan 1 : 2000

2. Umleitungsstollen und Fangdämme

Zum Zweck der Erstellung der Staumauer wird der Doubs durch einen auf dem französischen Ufer gelegenen 150 m langen Stollen mit einem Schluckvermögen von 180 m³/s umgeleitet, welcher nach Beendigung der Bauarbeiten durch einen Betonriegel wieder geschlossen wird. Der oberwasser- und unterwasserseitige Abschluss der Staumauerbaugrube erfolgt durch Dämme aus Steinsäcken mit Dichtungsschürzen aus Spundbohlen und armierter Betonwand, wobei in die anstehenden Kalkfelsen noch Dichtungsschirme aus Zementinjektionen gelegt wurden.

3. Staumauer und Wasserfassung

Der Standort der Talsperre war durch die topographischen und geologischen Verhältnisse eindeutig gegeben. Der Doubs durchquert an der fraglichen Stelle («Grande Beuge») die rechte Seiten-

wand des sog. Synclinal du Pissoux, wobei die an beiden Ufern anstehenden Felspartien und die Flußsohle aus kompaktem Jurakalk bestehen.

Die Staumauer stützt sich direkt auf den Fels ab, mit Ausnahme eines kleinen Abschnittes ihres Oberteils auf dem linken Ufer, wo ein Betonwiderlager die Druckkräfte auf den Fels überträgt. Die auffallend schlanke Gewölbemauer hat eine Höhe von 74 m und weist am Fusse eine Stärke von 14 m und an der Staumauerkrone eine solche von 2 m auf. Die totale Kronenlänge beträgt 150 m und die totale Betonkubatur ca. 47 000 m³. Die Staumauer erhält zwei in deren Fuss angeordnete, gepanzerte Grundablässe, welche im Notfalle den Stauraum in kurzer Zeit entleeren können und es auch ermöglichen, Hochwasser bis zu 180 m³/s abzuführen. Die Grundablässe sind mit rechteckigen, vom Maschinenhaus aus regulierbaren Tafelschützen von 1,5×2,0 m ausgerüstet. Eine Revisionsschütze erlaubt Unterhaltsarbeiten an den Hauptschützen auch bei vollem Stausee. Für Gesamtrevisionen sind am Einlauf der Grundablässe vor den Einlaufrechen Dammbalkennischen und am Auslauf eine weitere Schütze angeordnet. Zur Ableitung extremer Hochwasser ist die Staumauerkrone auf 80 m Länge als Überlauf ausgebildet. Die überströmenden Wassermassen stürzen in ein Tosbecken von 10 m Tiefe, welches durch eine kleine, unterhalb der Gewölbemauer erstellte Hilfsstaumauer eigens zu diesem Zwecke geschaffen wurde. Mit diesen Anordnungen werden die höchsten Hochwasserspitzen abgeleitet werden können, ohne irgendwelche Anlagen zu gefährden.

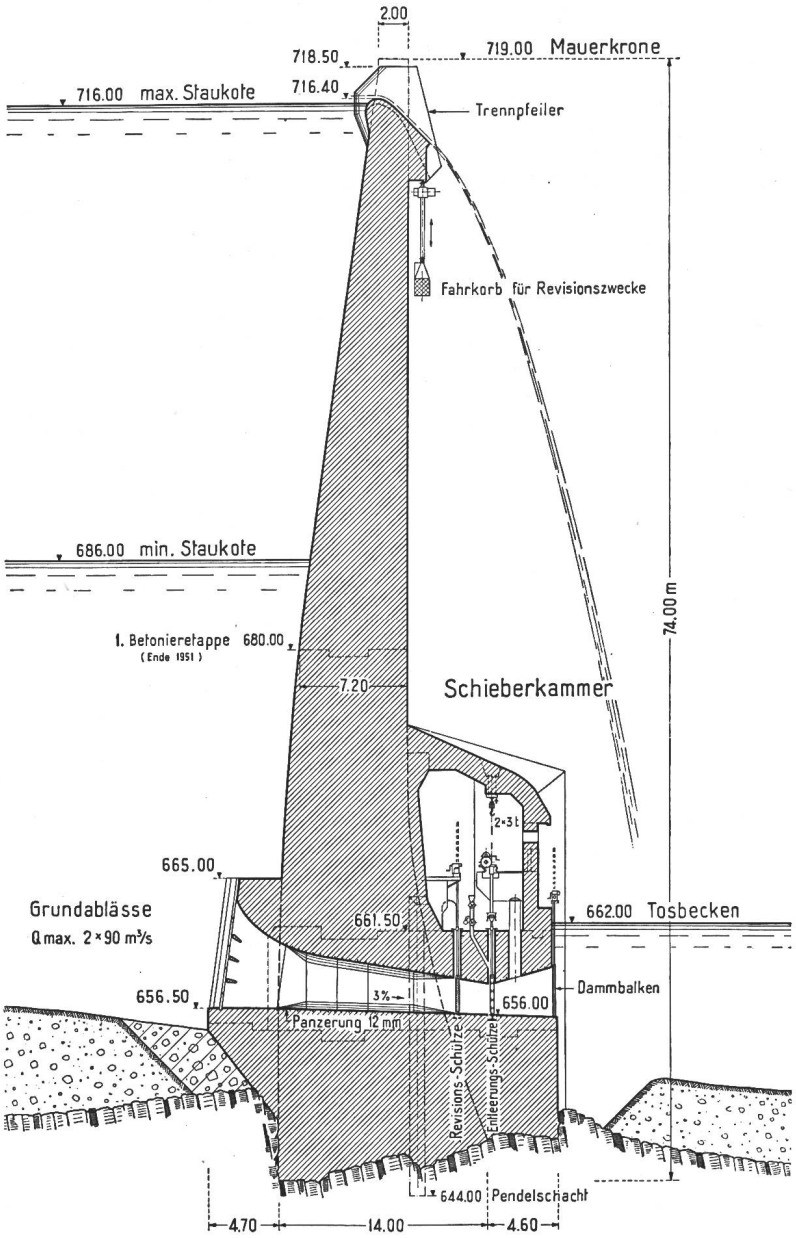


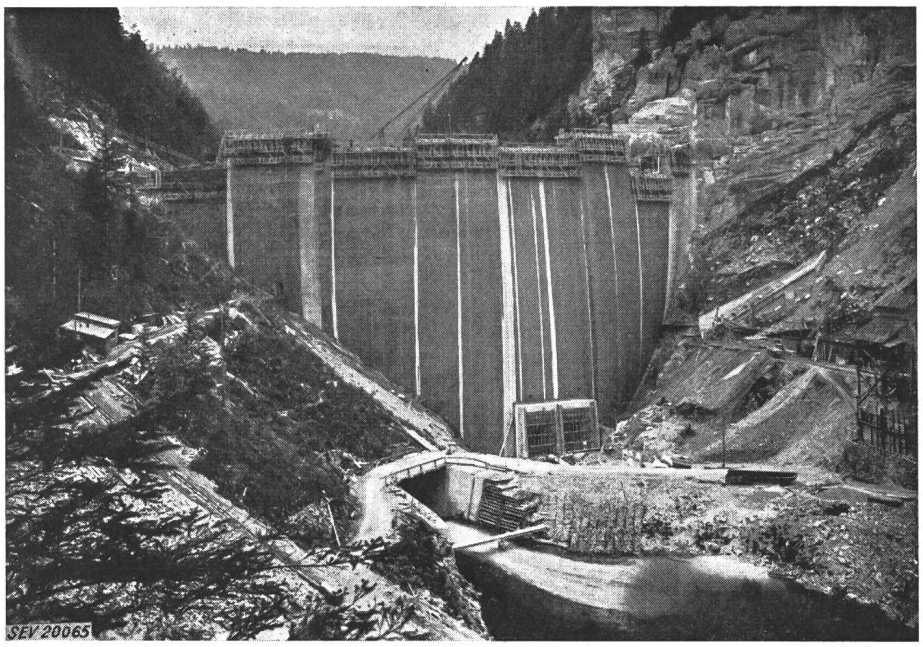
Fig. 5
Staumauer, Querschnitt
1 : 500

Die Eintrittsöffnung der Wasserfassung von 3,7×17,0 m ist mit einem Feinrechen von 30 mm Spaltweite versehen. In ca. 90 m Entfernung vom Einlauf ist die Apparatekammer angeordnet. Sie ist durch einen 100 m langen Zugangsstollen erreichbar und enthält für den Abschluss des Druckstollens eine Drosselklappe von 3,2 m Durchmesser. Diese kann sowohl örtlich wie auch vom Maschinenhaus aus durch Fernsteuerung geschlossen werden; das Öffnen kann nur an Ort und Stelle erfolgen. Für die Montage steht ein Laufkran von 12,5 t Tragkraft zur Verfügung.

4. *Druckstollen, Wasserschloss und Druckschacht*

Der Druckstollen weist ein kreisrundes Profil auf von 3,7 m Durchmesser und hat ein Gefälle von 4,1 ‰. Er kommt erwartungsgemäss auf seiner ganzen Länge in standfesten Kalkfelsen zu liegen. Die Auskleidung besteht zum grössten Teil aus einem Betonmantel von 20 cm Stärke, der an vereinzelten Stellen durch Armierungen verstärkt ist.

Das Wasserschloss konnte infolge der diesbezüglich günstigen topographischen Verhältnisse ganz in die Nähe von Druckschacht und Maschinenhaus placiert werden, und zwar ebenfalls vollständig im Fels. Den Forderungen des Typus der Anlage und der Betriebsführung entsprechend ist das Wasserschloss als senkrechter Steigschacht von 10 m Durchmesser und rund 60 m Höhe ausgeführt, mit einer Drosselung zwischen Druckstollen und Steigschacht und mit einer Überlaufkammer, jedoch ohne untere Kammer.



Durchmesser von 3,0 m, ist ebenfalls örtlich und vom Maschinenhaus aus willkürlich schliessbar, besitzt aber zudem eine auf Strömungsgeschwindigkeit des Wassers und auf schwere Störungen im Maschinenhaus ansprechende Schliessautomatik. Ein Laufkran ist auch in dieser Apparatekammer installiert.

Der gepanzerte Druckschacht von 3,0 m Durchmesser geht nach knapp 100 m Länge bei einem

Fig. 6
Staumauer
Ansicht von der Wasserseite
Bauzustand Juni 1952

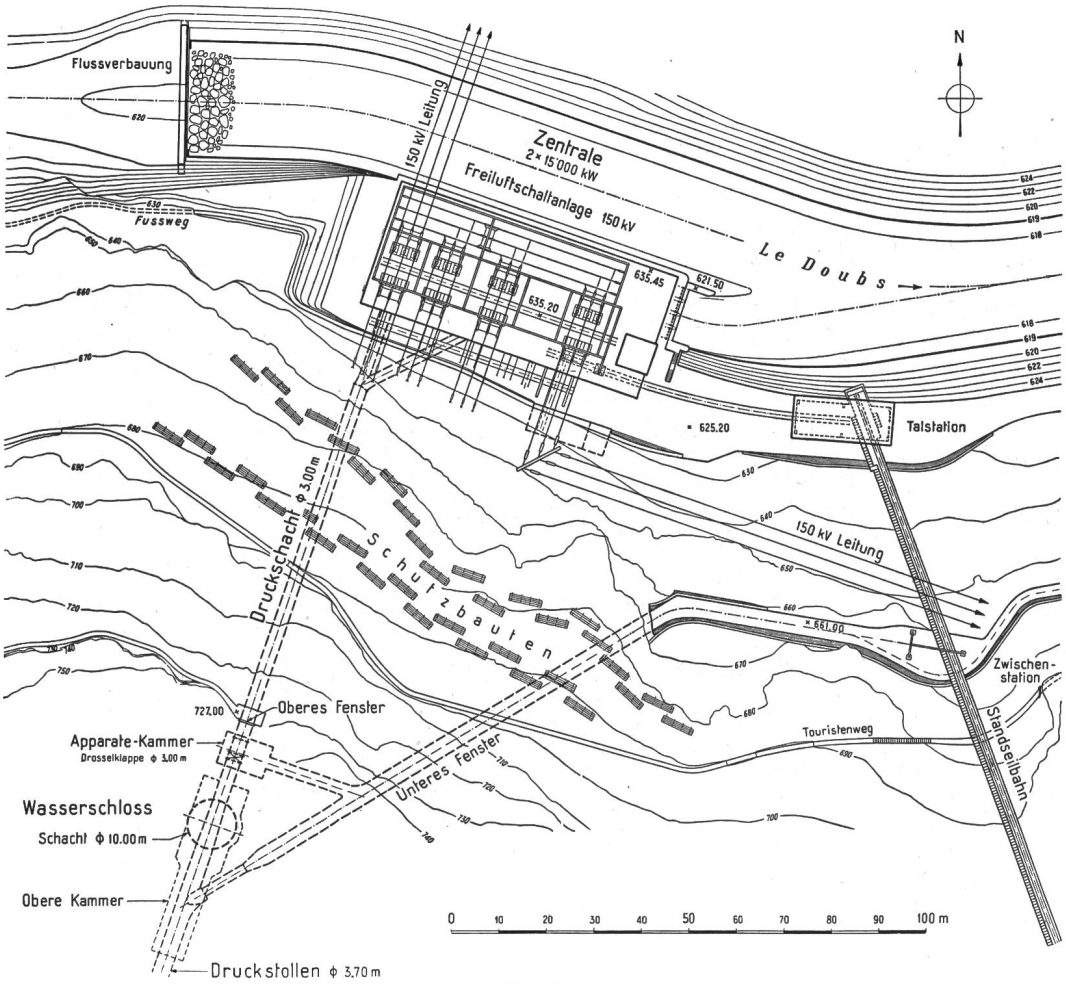


Fig. 7
Wasserschloss, Druckschacht und Maschinenhaus
Lageplan 1 : 1600

Dicht unterhalb des Wasserschlosses befindet sich die Apparatekammer für die Aufnahme der Drosselklappe des Druckschachtes. Diese, mit einem Gefälle von 70,2 % in die Zuleitungen der Turbinen über. Nach der ersten Hosenrohrgabelung haben die zwei Zuleitungen einen lichten Durchmesser von

2,2 m, und nach der zweiten Gabelung in 4 Leitungen beträgt deren Durchmesser noch 1,5 m.

5. *Das Maschinenhaus*

Das Maschinenhaus ist derart entworfen worden, dass es auf dem beschränkten Raum zwischen der steilen Talflanke und dem Doubsufer zur Aufstellung gelangen konnte. Von einer unterirdischen Anordnung war aus verschiedenen Gründen abzusehen. Das mit seiner Längsachse parallel zum Fluss verlaufende Gebäude ist auf Fels fundiert und bis auf die Kote des Katastrophen-Hochwasserstandes vollständig wasserdicht ausgeführt, womit die Forderung der Aufrechterhaltung des Betriebes auch bei den extremsten Hochwassern erfüllt werden kann Die Zugänge zum Gebäude, sowie Eintritt und Austritt der Kühlluftkanäle usw., befinden sich durchwegs oberhalb des maximalen Hochwasserstandes (625,20 m), während der Maschinensaal, ein Teil der Schaltanlage und einige Diensträumlichkeiten unterhalb desselben liegen.

Das Maschinenhaus umfasst in einem einzigen Gebäude den Maschinensaal auf Kote 621,5 m, die Generatorenschaltanlage, die 60-kV-Innenraum-Schaltanlage, die Eigenbedarfsanlage und die üblichen Diensträumlichkeiten, wie Kommandoraum, Büros, Werkstatt, Sanitätszimmer, Magazine usw. Dieses Gebäude überdeckt auch die an die Turbinen-Saugrohre anschliessenden, in der Längsrichtung des Gebäudes angeordneten und bis zu ihrer Einmündung in das Unterwasser getrennt geführten vier Ausläufe der Turbinen. Auf das Dach des Zentralengebäudes ist die 150-kV-Schaltanlage verlegt, was für die Schweiz u. W. ein Novum der allgemeinen Disposition eines ausgeführten Maschinenhauses darstellt.

Ausserhalb des Maschinenhauses, jedoch unmittelbar neben ihm auf der Bergseite, sind die Transformatoren aufgestellt. Einige weitere Betriebslokale, die ebenfalls nicht in das Maschinenhaus aufgenommen werden soll-ten, wie Transformatoren-Demontageraum, Öl- und Schmiermitteldepot, sind in kleinen Kavernen im Felsen der rechten Talflanke untergebracht.

Wenige Meter unterhalb des Maschinenhauses befindet sich die untere Endstation der Standseilbahn mit den Abladevorrichtungen für das nach dem Maschinenhaus zu transportierende schwere und leichte Material.

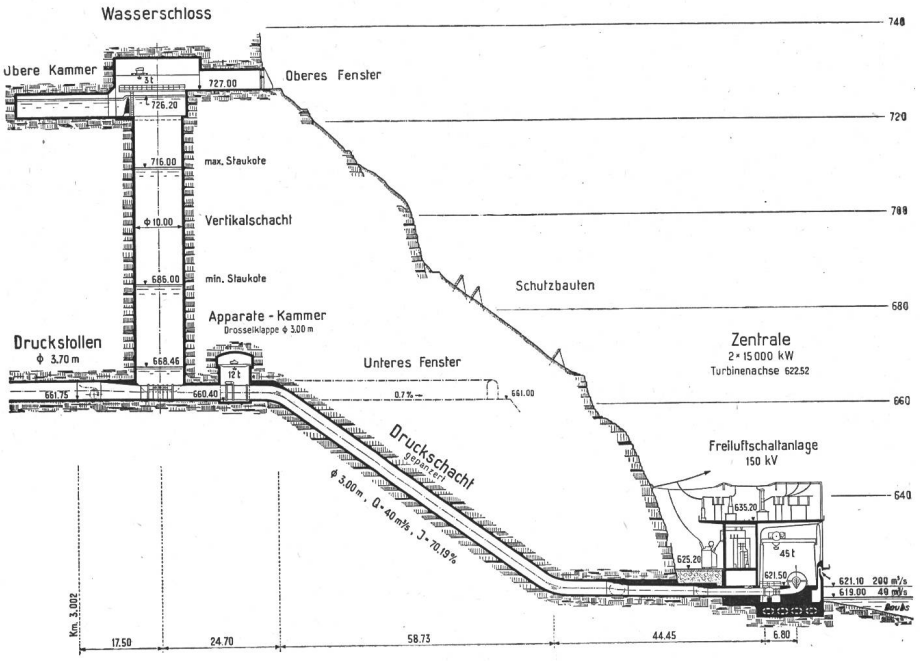


Fig. 8
Wasserschloss, Druckschacht und Maschinenhaus
Längenprofil 1 : 1600

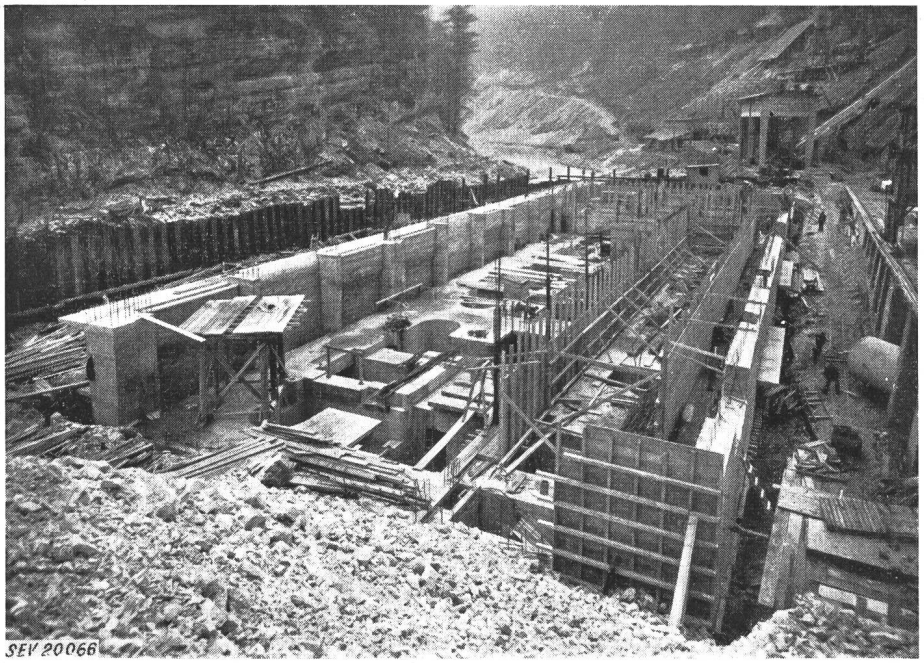


Fig. 9
Maschinenhaus, Bauzustand April 1952

6. Wasserrückgabe und Doubskorrektion

Die Rückführung des Betriebswassers in den Doubs erfolgt in der Flussrichtung. Durch eine geringe Verbreiterung des Flussbettes liess sich ein an das untere Ende des Maschinenhauses anschliessender Unterwasserkanal mit günstigen Strömungsverhältnissen schaffen.

Einige Kilometer weit flussabwärts der Stelle, wo das Maschinenhaus erstellt ist, weist der Doubs ein sehr geringes Gefälle auf. Auf einer Länge von etwa 1 km wurde das Doubsbett durch Ausbaggerungen reguliert, womit ca. 3 m Gefälle gewonnen werden konnten.

D. Die maschinellen und elektrischen Ausrüstungen

1. Das elektrische Schaltbild

Die speziellen Bedingungen der Energieabgabe waren auch beim Werk Châtelot bestimmend für die Wahl und die Disposition der elektrischen Installationen. Da die Hälfte der Energie an Frankreich mit der Spannung von 150 kV, die andere Hälfte teilweise mit 60 kV und 150 kV an die schweizerischen Energiebezüger abzugeben sein werden, wobei die in der Nähe von Châtelot vorbeigehende Transitleitung La Corbatière-Etupes an die Sammelschienen des Kraftwerkes anzuschliessen war, verlangte dies eine Disposition mit zwei verschiedenen Oberspannungen. Trotz den vielfältigen Betriebsbedingungen gelang es, den Anlagen ein nicht zu kompliziertes und übersichtliches elektrisches Prinzipschema zu Grunde zu legen.

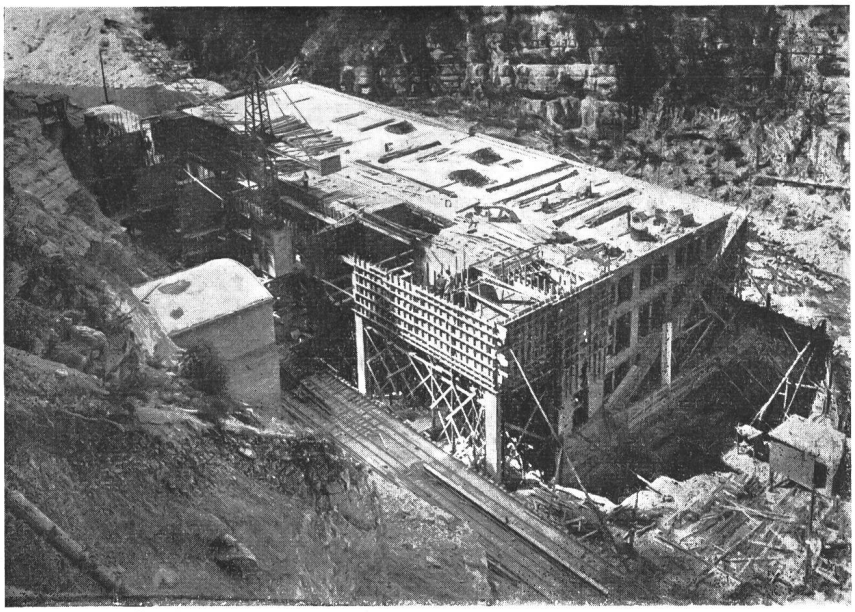


Fig. 10
Maschinenhaus, Bauzustand Juli 1952

Die zwei Generatoren speisen über die ihnen zugeordneten Dreiwicklungstransformatoren gleichzeitig die 60-kV- und 150-kV-Sammelschienen, von denen jede in zwei Hälften unterteilt ist, die erste mittels eines Kuppelschalters, die zweite lediglich mit Trenner. Drei Abgänge zu 60 kV, bemessen für je 40 MVA, mit einem vierten als zukünftige Reserve, transportieren die Energie nach Galmiz, Le Locle und La Chaux-de-Fonds. Zwei Abgänge zu 150 kV und je 80 MVA führen nach Galmiz und Etupes. Ein zukünftiger Kupplungstransformator 150/60 kV wird eine zusätzliche Verbindungs- und Austauschmöglichkeit zwischen den betreffenden Netzen für die verschiedenen Betriebsfälle schaffen.

Zur Prüfung eines beliebigen Generators mit dem Wasserwiderstand ist an die Generator-Transformator-Verbindungen eine 8-kV-Hilfssammelschiene mittels Trenner angeschlossen, die zudem einen kreuzweisen Betrieb von Generatorengruppen und Transformatoren erlaubt, ohne dabei den Aufwand einer eigentlichen Generatorsammelschiene zu erheischen.

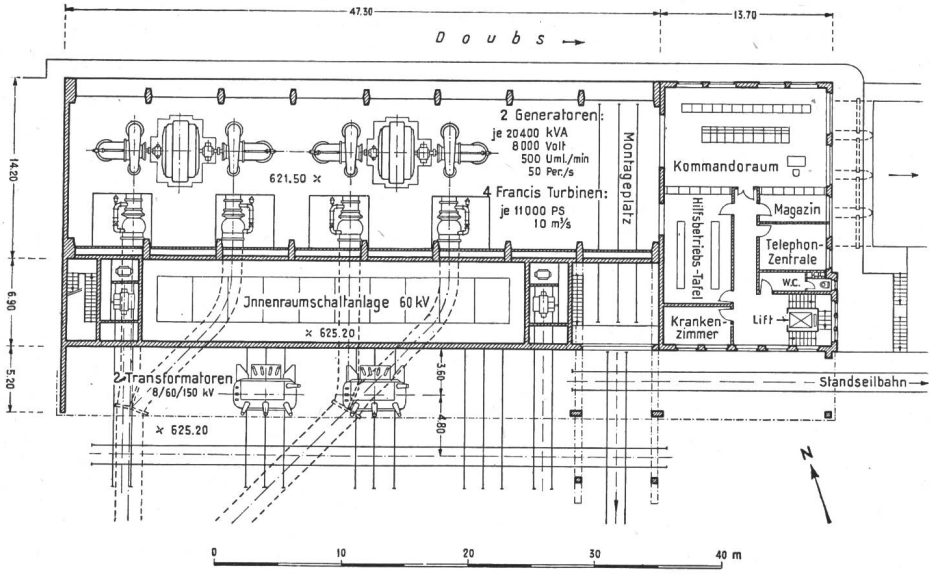


Fig. 11
Grundriss des Maschinenhauses
1 : 600

Trotz der doppelt vorgesehenen Speisung der Eigenbedarfsanlage mittels Transformatoren von der 60-kV-Sammelschiene, was im Zusammenhang mit der Gesamtschaltung die verschiedensten Versorgungsmöglichkeiten der Hilfsbetriebe bietet,

können die wichtigsten von diesen, bei Ausfall aller anderen Möglichkeiten, durch eine kleine Notstromgruppe versorgt werden.

2. *Die Maschinengruppen*

Jedes der zwei horizontalachsigen, im Maschinensaal untergebrachten Aggregate von je 16 300 kW maximaler Leistung besteht aus einem Francis-Turbinenpaar und einem Drehstromgenerator.

Die Turbinen sind für folgende Daten gebaut:

	Doppelturbine	Einzelturbine
Max. Nettogefälle	95,14 m	97,2 m
Schluckwassermenge	20,0 m³/s	10,0 m³/s
Leistung	16 800 kW	8 600 kW
Drehzahl	500 U./min	
Durchgangsdrehzahl	1000 U./min	

Jede Einzelturbine des Turbinenpaares einer Einheit besitzt ihr eigenes Gehäuse, Leitapparat und Laufrad. Sie sind zu beiden Seiten des Generators aufgestellt. Die Laufräder sind mit ihren Wellenstümpfen fliegend an die Wellenenden des Generators derart gekuppelt, dass die ganze Gruppe nur zwei Gleitlager besitzt, von denen das eine gleichzeitig als Spurlager ausgebildet ist. Die Kupplungen liegen ausserhalb der Lager und sind im Stillstand lösbar, wobei jedes Laufrad mittels einer Verschiebe- und Stützvorrichtung so vom übrigen Aggregat getrennt werden kann, dass die Gruppe wahlweise mit der einen oder anderen Einzelturbine angetrieben werden kann. Diese in einfacher Art ausgeführte Stütz- und Verschiebevorrichtung besteht im wesentlichen aus 4 im unteren Teil des Turbinengehäuses längs des Umfanges des Laufrades verteilt eingesetzten Stützbolzen und einer ebenfalls am Turbinengehäuse angebrachten Abpress-Schraube. Das fliegende Laufrad wird beim Abkuppeln mittels der Stützbolzen leicht angehoben, worauf das Rad nach dem Lösen der Kupplung mittels der Abpress-Schraube in horizontaler Richtung um das nötige Mass versetzt werden kann, wobei es sich auf einer am äusseren Laufradring angebrachten Gleitfläche über die Stützbolzen verschiebt.

Der Öldruckregler ist gemeinsam für die beiden Einzelturbinen und besitzt die nötigen Vorrichtungen für den Betrieb mit nur einer Turbine. Die Regler sind mit den üblichen, am Regler selbst und teils vom Kommandoraum aus betätigbaren Einrichtungen für Anlassen und Abstellen, Drehzahlverstellung, Öffnungsbegrenzung und Statikverstellung ausgerüstet. Jeder Einzelturbine ist ein Autoklav-Schieber mit Doppeldichtung von 1500/1150 mm Durchmesser zugeordnet. Die Schieber sind in 4 offenen Schiebergruppen innerhalb des Maschinensaales untergebracht; sie werden vom Maschinensaal aus betätigt, können jedoch im Notfall vom Kommandoraum aus ferngesteuert geschlossen werden. Im übrigen sind die Schieber derart ausgebildet, dass sie durch Messung des hydrostatischen Druckes vor und nach dem Schieber zur Wassermengenbestimmung benützt werden können (Venturidüse).

Die Generatoren sind für eine Leistung von 20 400 kVA bei $\cos\varphi = 0{,}8$, 50 Hz und für eine

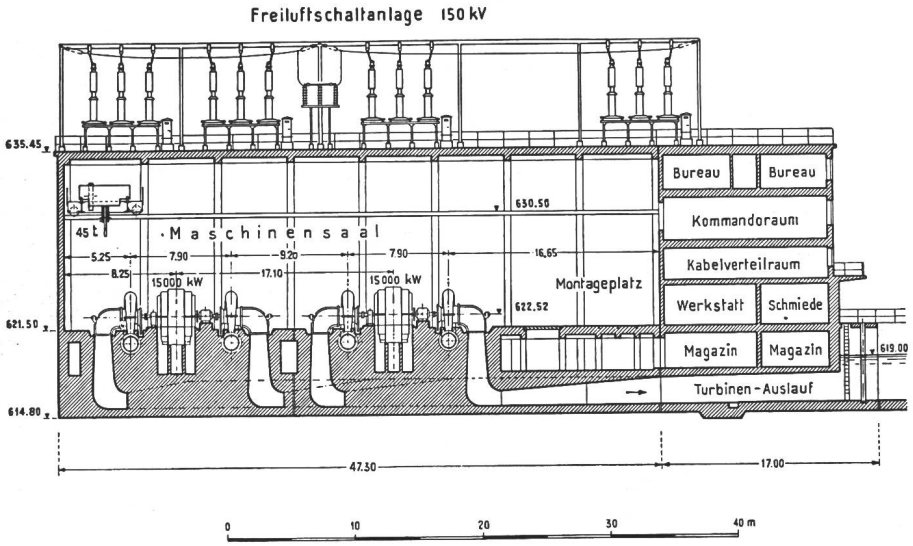


Fig. 12
Längsschnitt durch das Maschinenhaus
1 : 600

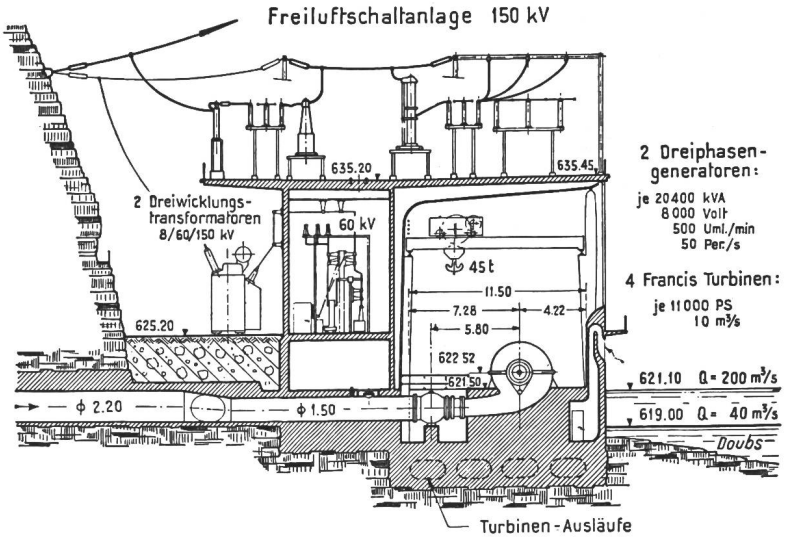


Fig. 13
Querschnitt durch das Maschinenhaus
1 : 600

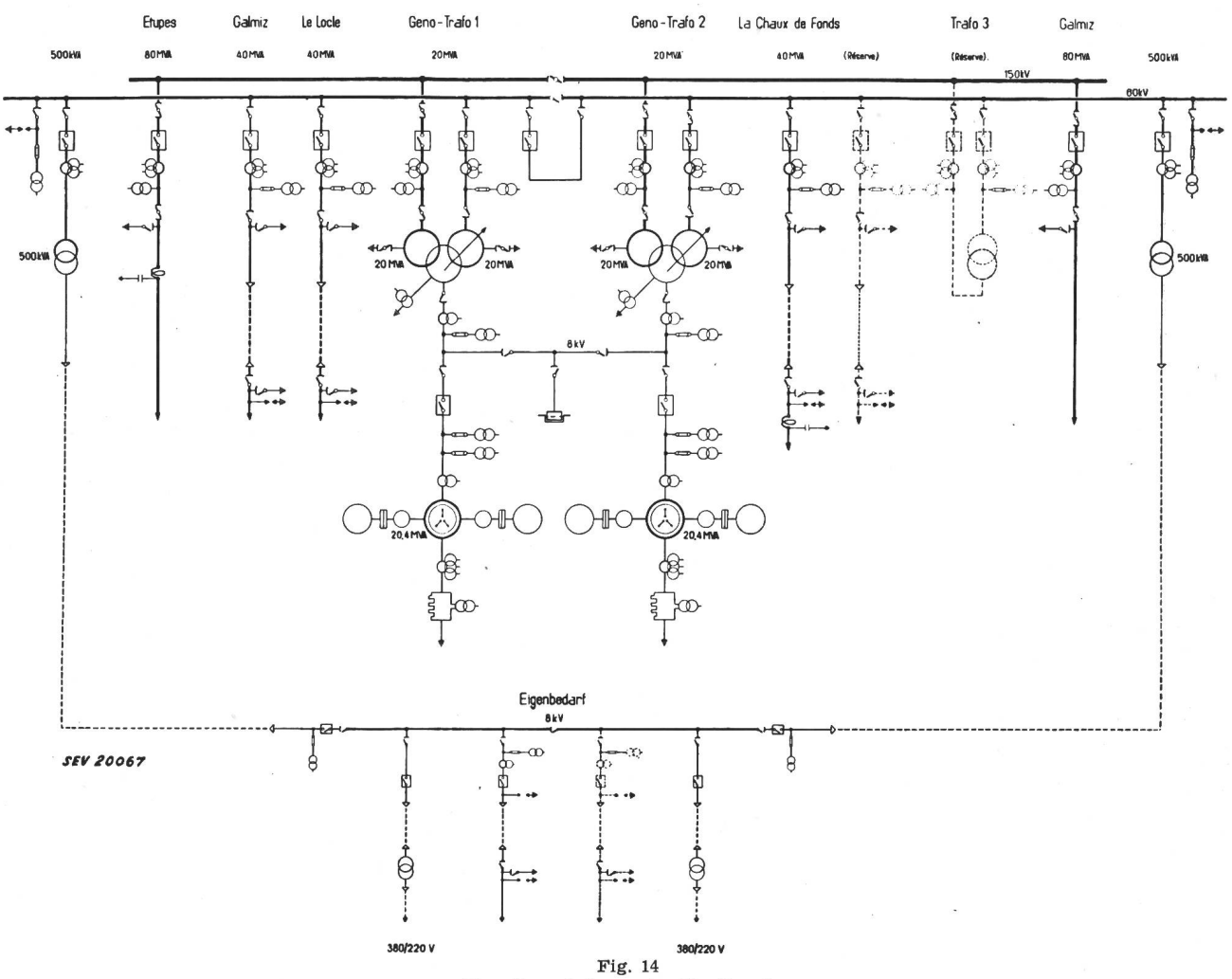


Fig. 14
Einpoliges Schema des Kraftwerkes

Nennspannung von 8400 V + 10 % — 5 % gebaut. Die Erregerleistung beträgt 90 kW bei max. 680 A. Das totale, im Rotor untergebrachte Schwungmoment ist 150 t m². Die Nebenmaschinen des Generators, nämlich Haupt- und Hilfserreger, sind auf der Generatorachse zwischen den beiden Lagern der Gruppe angeordnet, und zwar deren je eine auf jeder Seite des Stators. Der Hilfserreger ist gleichzeitig auch als Wechselstrommaschine für die Entnahme einer ausreichenden Drehstromleistung (3 kVA) zur Speisung des Pendelmotors des Turbinenreglers gebaut. Der Stator, dessen Eisenpaket sich aus Blechen mit einer Verlustziffer von 1,7 W/kg zusammensetzt, wurde aus Transportgründen zweiteilig ausgeführt. Die Statorhälfte bildet mit 18 t das schwerste Transportstück und war somit bestimmend für die maximale Tragfähigkeit der Standseilbahn. Der Rotor ist einteilig; fertig montiert ist sein Gewicht 48 t.

Die Generatoren sind in geschlossener Ausführung für Durchzugsventilation konstruiert; die Warmluft wird im Winter zur Heizung des Maschinensaales und der 60-kV-Schaltanlage ausgenützt. Als Brandschutz der Generatoren dient eine CO_2-Löschanlage, bei deren An-

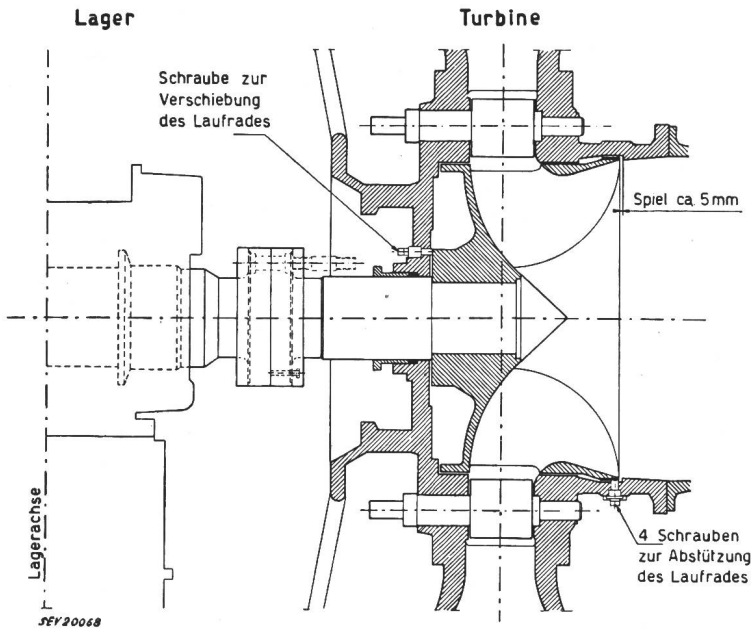


Fig. 15
Turbine, schematischer Schnitt mit Verschiebe- und Stützschrauben

sprechen die Ventilationskanäle bei jeder Ventilationsart in geeigneter Weise automatisch durch Klappen geschlossen werden.

3. *Die Transformatoren*

Für die Belieferung der Partner in zwei verschiedenen Oberspannungen wurden Dreiwicklungs-Reguliertransformatoren gewählt. Die Leistung von 20 000 kVA kann bei allen Übersetzungsverhältnissen 8.4/60, 8.4/150 und 150/60 bzw. 60/150 kV transformiert werden. Die Mittelspannung 60 kV ist mittels Stufenschalter unter Last regulierbar in den Bereichen $\pm$ 13×692 V, wogegen die Oberspannung lediglich durch Änderung der Generatorspannung (— 5 % + 10 %) der Netzspannung angepasst wird; die 150-kV-Wicklung besitzt keine Anzapfungen. Die Sternpunkte der 60- und 150-kV-Wicklungen sind voll isoliert herausgeführt; sie werden jedoch, falls geerdet, direkt an Erde gelegt. Die Kühlung der Transformatoren erfolgt mit erzwungenem Ölumlauf und Ölrückkühlung durch Wasser-Ölkühler. Trotzdem die Transformatoren im Freien, allerdings direkt neben dem Maschinenhaus aufgestellt sind, ist auch für diese ein Brandschutz installiert, und zwar mit Schaumlöschern, wobei das benötigte Druckwasser aus dem Druckschacht entnommen wird. Die Löschanlage wird von Hand vom Kommandoraum aus in Funktion gesetzt.

4. *Die Generatorschaltanlage*

Durch Weglassen einer eigentlichen Generatorsammelschiene ist die Generatorschaltanlage einfach gehalten. Sie ist auf der Bergseite des Maschinenhauses in einem Raum anschliessend an den Maschinensaal, auf der gleichen Kote wie dieser, und damit im Zuge der direkten Verbindung zwischen den Generatoren und Transformatoren untergebracht. Sie umfasst die Verbindungsschienen zwischen Generator und Transformator, die Hilfsschiene für den Anschluss des Wasserwiderstandes und die zugehörigen Trenner, sowie die Zellen für die Generatorschalter (ölarme Schalter) mit den entsprechenden Trennern und die Messwandlerzellen. Sämtliche Hauptverbindungen bestehen aus Kupferschienen; es kommen keine Kabel zur Anwendung. Die 3polig gekuppelten Trenner werden von Hand bedient.

5. *Die 60-kV-Schaltanlage*

Diese ist als Innenraumanlage disponiert und in einem Schaltraum auf der Bergseite des Maschinenhauses auf Kote 625,20 m errichtet. Sie besteht aus total 10 Feldern, die in zwei durch das Kuppelfeld getrennte Gruppen von 5 bzw. 4 Zellen zusammengefasst sind. Jede Gruppe wird von einem Haupttransformator gespeist. Die in Eisenkonstruktion ausgeführten Zellen enthalten die ölarmen Leistungsschalter, die von Hand zu betätigenden Trenner und die Messwandler (Ölspannungswandler und Trocken-Durchführungsstromwandler). Die über die Zellen hinweggeführten Sammelschienen bestehen aus Cu-Röhren, ebenso die Hauptverbindungen. Von den 60-kV-Feedern führen Einleiterkabel bis zu den Anschlüssen an die Freileitungen. Die zwei Eigenbedarfsabgänge mit den zugehörigen Transformatoren 60/8 kV befinden sich je an den beiden Enden der 60-kV-Schaltanlage. Diese ist im übrigen mit zwei Sätzen Überspannungsableiter geschützt, die ebenfalls je an den beiden Enden der Sammelschiene angeschlossen sind.

6. *Die 150-kV-Schaltanlage*

Die Aufstellung der 150-kV-Schaltanlage auf dem Dache des Maschinenhauses drängte sich bei den vorliegenden, allgemein beschränkten Platzverhältnissen als günstigste Lösung auf. Es ergaben sich damit nicht nur die kürzestmöglichen Verbindungen innerhalb der Gesamtanlage, sondern auch die bestmöglichen Verhältnisse für die Anordnung der abgehenden 150-kV-Leitungen. Die zur Verfügung stehende, relativ kleine Grundfläche des Daches verlangte allerdings eine gedrängte Disposition, doch konnte die Übersichtlichkeit trotzdem gewahrt werden.

Wie die 60-kV-Anlage, besteht auch die 150-kV-Schaltanlage mit der Unterteilung der Sammelschiene durch einen Kuppeltrenner aus zwei Hälften, die je einen Abgang und eine Speisung von einem Haupttransformator enthalten. Für den zukünftigen Kuppeltransformator 150/60 kV ist ein Reservefeld vorhanden. Die Sammelschiene verläuft parallel der Längsachse des Maschinenhausdaches auf der Flußseite; die Feeder sind auf der Bergseite aufgestellt. Sammelschienen und Verbindungen bestehen aus Kupferseil von 185 mm² Querschnitt. Die Abspannisolatoren werden an Eisengerüsten befestigt, die im Betondach verankert sind. Die ölarmen 150-kV-Leistungsschalter, die von Hand bedienbaren Drehtrenner und die Öl-Messwandlergruppen sind auf den üblichen Eisengerüsten montiert. Die über den Doubs nach Frankreich abgehende Freileitung ist am Fels der rechten Talflanke abgespannt; die Zugverankerung der nach Galmiz führenden, zunächst parallel dem Ufer verlaufenden Leitung erfolgt in üblicher Weise an einem Winkelmast.

7. *Die 8-kV-Anlage für den Eigenbedarf*

Für den Eigenbedarf und die lokale Energieversorgung ist eine besondere 8-kV-Anlage erstellt, die ihrerseits von der 60-kV-Anlage über zwei Transformatoren von je 500 kVA Leistung gespeist wird. Diese Anlage ist in dem gleichen Schaltraum untergebracht wie die Generatorschaltanlage. Die Zellen sind in offener Bauart in Eisenkonstruktion ausgeführt und enthalten die normale Schalt- und Messapparatur. Die obigen Transformatoren 60/8 kV sowie diejenigen der Hilfsbetriebe, nämlich zwei Transformatoren 8000/380/220 V, je 250 kVA, sind in zwei Räumen anschliessend an die 60-kV-Schaltanlage aufgestellt. Erwähnenswert ist, dass dabei je ein Transformator 60/8 kV und 8000/380/220 kV sich in der gleichen Zelle befinden, womit drei verschiedene Spannungsstufen in einer Zelle vorkommen. Die beschränkten Platzverhältnisse kommen damit letzten Endes sogar in einem solchen, relativ unbedeutenden Anlageteil zur Auswirkung. Die ab-

gehende 8-kV-Leitung wird durch ein Dreileiterkabel mit der Anlage verbunden und ebensolche Kabel führen zu den 380/220-V-Verteil-Schalttafeln im hiefür vorgesehenen Raum in unmittelbarer Nähe des Kommandoraumes.

9. Die Kommandoanlage

Die Kommandoanlage ist aufgeteilt in drei Gruppen, nämlich: die Hauptkommandoanlage mit den Schaltpulten und Tafeln für die Gesamtanlage, die Schalttafeln der Maschinengruppen und die Schalttafeln der Hilfsbetriebe.

Die Schalttafeln der Maschinengruppen, aufgestellt an der bergseitigen Wand des Maschinensaales, enthalten die zur örtlichen Überwachung und Steuerung der Aggregate nötigen Instrumente und Apparate. Die wichtigsten davon sind im Kommandoraum wiederholt. Das Anlassen und Abstellen der Gruppen erfolgt nur von den Regler-Steuerpulten aus. Die Bereitschaft einer Gruppe für die Parallelschaltung wird im Kommandoraum optisch angezeigt.

Die Überwachung und Schaltung der Hilfsbetriebe inklusive der Notstromgruppe und der Gleichstrom-Hilfsbetriebe erfolgt ausschliesslich von den Hilfsbetriebs-Schalttafeln aus, die in einem besonderen Raum neben dem Kommandoraum untergebracht sind. Die 60-kV-Seite der Eigenbedarfsanlage (Schalter und Transformator 60/8 kV) wird jedoch vom Kommandoraum aus kontrolliert und gesteuert.

Der Kommandoraum befindet sich im flussabwärts gelegenen Trakt des Maschinenhauses mit gutem Überblick über den Maschinensaal. Die für die Kontrolle der Gesamtanlage erforderlichen Instrumente und Apparate sind in einem Schaltpult, einer Instrumententafel und einer Relaistafel zusammengefasst und jeweils in einzelne Felder gruppiert. Sämtliche Zähler sind in einer im Kabelverteilraum aufgestellten Zählertafel untergebracht. Ein Blindschema mit Symbol-Steuerschaltern, auf dem Steuerpult angeordnet, erlaubt den Überblick über den Schaltzustand der Anlage. Die Kommandoanlage umfasst neben der Steuerapparatur die übliche Mess-, Schutz- und Regulier-Apparatur der elektrischen Maschinen und Anlagen. Vom Kommandoraum aus sind ausser sämtlichen Schaltorganen des Maschinenhauses auch die Schliess- und Sicherheitsorgane der Staumauer, des Druckstollens und des Druckschachtes fernsteuerbar. Eine Wasserstand-Mess- und Fernmeldeanlage, die auch die Wasserstände im Wasserschloss und Unterwasserkanal erfasst, mit den Anzeige- und Registrierapparaten im Kommandoraum, ergänzen die Kommandoanlage in dieser Beziehung.

Die Generatoren sind gegen innere und äussere Fehler und Überlastungen geschützt; bei Brandausbrüchen tritt, wie erwähnt, eine CO_2-Löschanlage in Funktion. Die Regulierung der Generatorspannung erfolgt durch Öldruckschnellregler mit üblicher Sollspannungseinstellung und Vorrichtung zur Untererregung bei Unterspannungssetzung einer 150-kV-Leitung. Die Schnellentregung wird durch Magnetfeldschalter und Entladewiderstand ermöglicht. Die Parallelschaltung wird durch eine Schnellsynchronisier-Einrichtung besorgt.

Die Haupttransformatoren sind ebenfalls gegen Fehler und Überlastungen durch entsprechende Relais geschützt, wobei eine der Relais-Schutzeinrichtungen als Besonderheit erwähnenswert ist, nämlich der Einbau von Stromwandlern mit hochempfindlichem Relais in die Erdung der Transformatorenkessel, womit Erdschlüsse der Transformatorwicklungen angezeigt werden. Brände der Haupttransformatoren können mit einer stationären Luftschaum-Feuerlöschanlage bekämpft werden. Die Transformatoren werden dabei von oberhalb denselben fest angebrachten Schaumgiessköpfen eingeschäumt. Zudem können mittels mobiler, zusätzlich anschliessbarer Luftschaumrohre weitere Brandherde in der Nähe der Transformatoren mit Schaum aus der stationären Luftschaumanlage gelöscht werden. Brände der Hilfstransformatoren werden nicht mit dieser Luftschaumanlage gelöscht, sondern wie diejenigen der Generatoren durch eine CO_2-Anlage, weil sie in geschlossenen Zellen aufgestellt sind.

Die abgehenden 60- und 150-kV-Freileitungen sind zum Schutze gegen Kurzschlüsse mit Schnelldistanzrelais ausgerüstet.

10. Verschiedenes

Von den übrigen Ausrüstungen des Kraftwerkes sei noch der übliche Maschinensaal-Laufkran von 45 t Tragkraft erwähnt, sowie ein weiterer Laufkran von 85 t, welcher auch den auf der Kote des Maschinensaales, also tiefer als die Zufahrt befindlichen und ausserhalb des Maschinensaales angeordneten Abstellplatz bedient. Die Fahrbahn dieses Kranes verläuft quer zum Maschinenhaus und reicht bis in die Transformator-Demontagekaverne, wo die kompletten, ölgefüllten Transformatoren mittels dieses Kranes in eine Grube versenkt werden können.

Für den Fall einer momentanen Stillegung des Kraftwerkes in Trockenperioden des Winters muss mit Rücksicht auf die in dieser Gegend vorkommenden tiefen Aussentemperaturen die Heizanlage des Maschinenhauses etwas aussergewöhnlichen Bedingungen Rechnung tragen können. Während im normalen Betrieb der Maschinensaal und die 60-kV-Schaltanlage mit der Warmluft der Generatoren und die übrigen Räumlichkeiten durch eine Elektrokessel-Heizungsanlage geheizt werden, kann bei Stillstand der Maschinen das ganze Gebäude mit dieser zweiten Anlage geheizt und bei allfälligem vollständigem Energieausfall mittels einer Reserve-Ölfeuerungs-Heizung temperiert werden.

Der Umstand, dass vom Kraftwerk Châtelot drei verschiedene Netze und zwei Länder beliefert werden, erforderte ziemlich umfangreiche Telephonanlagen. So sind denn neben den internen Telephonverbindungen der Kraftwerkanlage und den Anschlüssen mit den öffentlichen Telephonnetzen beider Länder zwei getrennte leitungsgerichtete HF-Telephonieanlagen installiert.

E. Energieproduktion, Baukosten und Gestehungspreis der Energie

Auf der Basis einer mittleren, nutzbaren Wassermenge von 12 m^3/s und unter der Voraussetzung, dass das Werk Châtelot bei jeder Wasserführung des Doubs so weit wie möglich als tägliches Spitzenkraftwerk eingesetzt wird, d. h. mit Vollast arbeitet, errechnet sich als Mittel der hydrographischen Jahre 1925/26 bis 1948/49 eine jährliche Energieproduktion von 98 GWh.

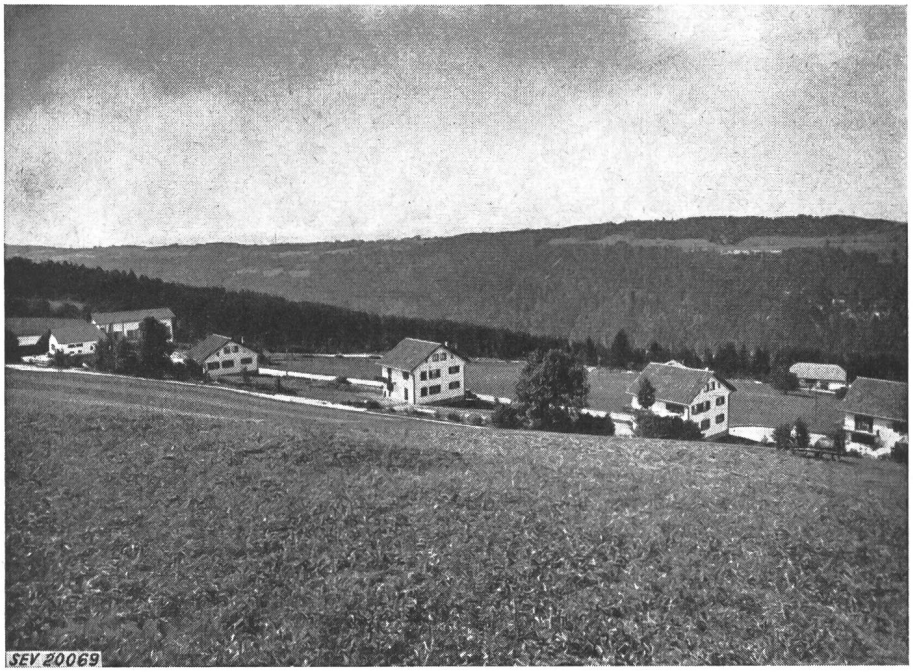


Fig. 16
Wohnkolonie «Les Planchettes» und obere Seilbahnstation

Bei einer Wasserführung unter dem Mittel ist der Spitzenbetrieb des Werkes vom Standpunkt der optimalen Ausnützung der dargebotenen Wassermenge nicht mehr als günstigster Betriebsfall anzusehen; der Einsatz als Laufwerk ergibt eine höhere Energieproduktion. In Wirklichkeit wird sich somit der Einsatz des Werkes zwischen den beiden Extremen bewegen, wobei die mittlere, jährlich erzeugte Energie mit 100 GWh einzusetzen ist; davon sind 57 % Winter- und 43 % Sommerenergie.

Die gesamten Anlagekosten belaufen sich, auf der Preisbasis vom Februar 1950 gerechnet, auf 37 Millionen Schweizer Franken. Der Gestehungspreis der Winterenergie ergibt sich zu rund 3,5 Rp./kWh.

F. Bauausführung und Bauprogramm

Die Bauarbeiten für die Erstellung des Kraftwerkes Châtelot sind in zwei Hauptlose unterteilt. Das obere Los umfasst die Zufahrtstrassen, Staumauer, Umlaufstollen, Wasserfassung und obere Hälfte des Druckstollens. Die Elektro-Watt, Zürich, wurde mit der Projektierung und Bauleitung dieses Loses unter Zuzug von Professor A. Stucky in Lausanne für die Bogenstaumauer betraut. Das untere Los besteht aus unterer Hälfte des Druckstollens, Wasserschloss, Druckschacht, Maschinenhaus, Doubskorrektion, Standseilbahn und Wohnhäuser des Betriebspersonals. Die Projektierung und Bauleitung dieses Loses wird durch die Schweizerische Elektrizitäts- und Verkehrsgesellschaft, Basel, besorgt.

Gemäss den in den schweizerischen und französischen Konzessionen enthaltenen Bedingungen sind im Verhältnis der Wasserrechte Bauunternehmungen und Maschinenlieferanten von beiden Ländern beteiligt.

Die im Juni 1950 begonnenen Bauarbeiten sind kräftig gefördert worden; weil die Verhältnisse einen weiteren glücklichen Fortgang der Arbeiten erwarten lassen, kann mit der teilweisen Inbetriebnahme des Kraftwerkes mit einer Maschinengruppe im Februar 1953 gerechnet werden. Nach dem vollständigen Aufbetonieren der in einzelnen Blöcken erstellten Staumauer, welche Arbeit im Herbst 1952 vollendet sein wird, werden die Trennfugen mit Zement ausgepresst; alsdann wird nach dem Abschliessen des Umleitungsstollens der Aufstau im Speicherbecken «Moron» bis unmittelbar unter das Stauziel erfolgen können. Der Durchschlag des von zwei Seiten in Angriff genommenen Druckstollens fand Ende November 1951 statt und die Abpressversuche zur Feststellung der Wasserundurchlässigkeit können Ende 1952, nach Abschluss der Bauarbeiten im Druckstollen, durchgeführt werden. Die ersten Abpressversuche des gepanzerten Druckschachtes zusammen mit den Hosenrohren der Verteilleitung sind schon durchgeführt worden und weitere Versuche unter Einbezug des Wasserschlosses werden in nächster Zeit vorgenommen. Mit der Montage der ersten Maschinengruppe und der Innenraumschaltanlagen wird im Herbst 1952 begonnen. Die Aufnahme der der installierten Leistung entsprechenden uneingeschränkten Energieproduktion dürfte im Verlaufe des Frühjahrs 1953 erfolgen.

Adresse des Autors:
W. F. Brügger, Dipl. Ing. ETH, Schweizerische Elektrizitäts- und Verkehrsgesellschaft, Malzgasse 32, Basel.